ChinaXiv合作期刊

引用格式：潘教峰，王海霞，冷伏海，等.《2022研究前沿》——11个大学科领域发展趋势与重点研究问题. 中国科学院院刊, 2023, 38(1): 154-166, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20221219001.

Pan J F, Wang H X, Leng F H, et al. *2022 Research fronts:* Development trends and key research questions in 11 broad research areas. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(1): 154-166, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20221219001. (in Chinese)

《2022研究前沿》——11个大学科领域发展趋势与重点研究问题

chinaXiv:202303.10152v1

潘教峰[1,2]　王海霞[1]　冷伏海[1*]　张　凤[1,2]　杨　帆[1]　袁建霞[1]　邢　颖[1]　范唯唯[1]　周秋菊[1]
边文越[1]　张超星[1]　黄龙光[1]　王海名[1]　韩　淋[1]　裴瑞敏[1]

1 中国科学院科技战略咨询研究院　北京　100190
2 中国科学院大学　公共政策与管理学院　北京　100049

摘要　2022年12月，中国科学院科技战略咨询研究院、中国科学院文献情报中心和科睿唯安公司联合发布《2022研究前沿》报告。报告以基本科学指标（ESI）数据库中的12 610个研究前沿为基础，遴选出2022年自然科学和社会科学的11个大学科领域较为活跃或发展迅速的165个研究前沿。文章以这165个研究前沿及其核心论文和施引论文为分析基础，概括出当前科学研究所呈现的8个整体发展趋势，以及11个大学科领域的近期发展趋势和重点研究问题，旨在为研判科技发展大势、凝练重要科学研究问题并进行系统布局提供参考。

关键词　研究前沿，高被引论文，科技发展趋势

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20221219001

当前，科学研究各领域交叉融合不断深化，物质科学、生命科学等领域的基本科学问题孕育着重大突破。对高水平科研产出进行客观、持续的分析和研判，将为洞悉科技未来发展趋势、凝练重大科学问题、超前谋划和布局科技攻关方向，从而加快实现高水平科技自立自强提供有力支撑。

《2022研究前沿》报告[1]基于2016—2021年发表的论文数据（数据下载时间为2022年3月），利用文献计量学中的共被引分析方法，以科睿唯安公司基本科学指标（ESI）数据库中的12 610个研究前沿为起点，遴选出2022年自然科学和社会科学的11个大学科领域较为活跃或发展迅速的110个热点前沿和55个新兴前沿，并对33个重点研究前沿/群进行了解读。经科技领域专家、政策专家和战略情报专家的进一

*通信作者
资助项目：中国科学院战略研究与决策支持系统建设专项（GHJ-ZLZX-2022-09）
修改稿收到日期：2022年12月20日

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10152v1

步综合分析研判，揭示出这 165 个研究前沿及其核心论文①和施引论文②所表征的科学研究 8 个整体趋势特点，以及 11 个大学科领域的近期发展趋势和重点研究问题。

从整体上，《2022 研究前沿》反映出当前科学研究的 8 个趋势特点：① 人工智能赋能各学科领域并开拓科学研究新范式；② 新冠病毒带来的重大挑战成为众多学科科学研究的强大驱动力；③ 地球科学重大突破仍是一段时期内保障"能源安全"的主要科技支撑；④ "粮食安全"和"健康问题"的解决需要"基因组技术的基础研究"方面的开放大科学计划；⑤ 宏观宇宙和宜居地球探索揭示地球系统整体统一图景；⑥ 深空探索和微观调控不断拓展物质科学知识体系的边界；⑦ 数学研究破解世纪难题和各学科领域数学逻辑瓶颈；⑧ 挑战人类认知极限的复杂前沿问题日益打破自然科学、工程科学和社会科学研究的界限。

1 农业、植物学和动物学领域发展趋势与重点研究问题

1.1 发展趋势

先进基因、材料、制造和智能技术驱动着农业、植物学和动物学研究。食品安全检测与食品制造越来越智能化，植物基因组研究进入泛基因组时代，基因编辑技术不断改进，植物免疫调控机理持续受到关注，动物疫病研究成为热点。

1.2 重点研究问题

《2022 研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① 食品智能传感包装膜；② 3D 食品打印；③ 植物泛基因组研究；④ 新一代基因编辑技术；⑤ 植物免疫调控机理；⑥ 新冠病毒对家养动物的感染和传播。

以"植物泛基因组研究"为例。"泛基因组"这一概念最初于 2005 年由美国科学家在微生物组学领域提出，之后很快被拓展并应用于动植物基因组学领域，引领基因组研究进入泛基因组学时代[2]。泛基因组研究旨在把整个物种或群体中的每个个体特有的遗传性状及相关基因都挖掘出来，因此，对生物遗传变异资源挖掘、特有性状调控基因鉴定及培育农业动植物优良品种等意义重大。"植物泛基因组研究与应用"连续入选《2021 研究前沿》和《2022 研究前沿》报告中的农业、植物学和动物学领域的热点前沿。近年来，该研究前沿不断取得新进展。2018 年，中国农业科学院牵头并联合国内外 16 家单位对 3 010 份栽培稻进行测序，构建了首个接近完整的亚洲栽培稻泛基因组[3]。2020 年，加拿大主导的国际团队在来自世界各地的 15 个小麦品种的基础上，绘制出史上最全的小麦基因组图谱[4]。同年，中国对 2 898 份大豆样本进行重测序，首次实现了基于图形结构的植物泛基因组构建[5]。澳大利亚、美国和中国是该研究前沿核心论文的主要产出国家；澳大利亚的西澳大利亚大学、昆士兰大学、墨尔本大学，美国的佐治亚大学，中国农业科学院、中国科学院和法国国家农业食品与环境研究院是主要产出机构。

2 生态与环境科学领域发展趋势与重点研究问题

2.1 发展趋势

生态与环境科学研究日益关注伴随气候变化、人类活动等带来的新型生态环境问题、具有全球性重大影响的生态环境问题，以及多学科理解和施策的理论与方法，如新污染物的环境特征、生态健康风险和污染防控研究，重大突发灾害造成的环境污染和生态破坏及应对的科学、技术、管理和政策研究等。

① 当一簇高被引论文共同被引用的情形达到一定的活跃度和连贯性时，就形成一个研究前沿，而这一簇高被引论文便是组成该研究前沿的"核心论文"。

② 关于"引文"，我们这里称"施引论文"。

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10152v1

2.2 重点研究问题

《2022研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① “同一健康”理念指导的新冠病毒流行与监控过程中的生态环境驱动因素及环境健康面临的威胁和综合保护研究；② 微塑料等新污染物的生态环境风险、污染防控和管理举措研究；③ 全球生物多样性衰退、重要生态系统退化及保护研究；④ 气候变化导致的传染病流行、森林火灾等引发的全球或区域生态环境问题及其解决方案。

以“COVID-19疫情带来固体废物和医疗废物污染”为例。为应对新冠肺炎疫情，个人防护用品和医疗物品使用量激增。据研究统计，全球每月估计使用1 290亿个口罩和650亿双手套[6]。由此导致的医疗废物和固体废物的爆炸性增长带来大范围的环境污染，并对人类健康产生负面影响。由于担心塑料作为病毒载体引发疾病传播，人们更多地选择使用一次性塑料医疗制品。因此，新冠肺炎疫情的暴发让一次性塑料禁令的实施遭遇困境，这直接导致了塑料污染风险的大幅增加。相关问题在2020年新冠肺炎疫情暴发后引起了环境领域研究人员的极大关注。本研究前沿共40篇核心论文，主要有2个研究方向：① 个人防护用品产生的陆地和海洋生态环境风险和管理挑战。重点是关于个人防护用品作为微塑料污染的一个新兴来源，其全球环境排放及对废弃物管理的影响和挑战。该研究前沿被引频次最高的核心论文即强调并展望了新冠肺炎疫情带来的塑料和其他废弃物的环境后果，提出“塑料废物足迹”的概念，从学术研究和环境政策的角度讨论了新冠肺炎疫情大流行期间和之后废物管理方面新出现的挑战。该文由捷克布尔诺理工大学等机构于2020年发表在《可再生与可持续能源评论》[7]。② 疫情带来的个人防护用品的污染控制技术、无害化处置措施和管理举措。重点是讨论平衡公共卫生、环境安全、产业链和供应链的政策，并综合考虑各种技术手段的综合策略和新型解决方案。葡萄牙阿威罗大学等机构的多国研究人员于2021年在《化学工程杂志》上发表了一篇综述论文[8]，讨论了克服新冠肺炎疫情导致的塑料污染挑战的潜在策略，强调未来的措施应反映公共健康和环境安全之间的平衡，转向可持续塑料替代品，继续将塑料污染问题置于全球和地区政治议程的重要位置，并呼吁科学界、产业界和政治家共同行动。中国、加拿大和印度是该研究前沿核心论文的主要产出国家，加拿大达尔豪斯大学、葡萄牙阿威罗大学、新加坡科技研究局信息通信研究院、新加坡高性能计算研究所和捷克布尔诺理工大学是核心论文产出较多的机构。

3 地球科学领域发展趋势与重点研究问题

3.1 发展趋势

地外天体探测达成新的里程碑，加速人类对行星地球形成与演化的新认知。冰川冻土的地球系统变化和新的油气资源探测开采给地球科学提出新问题、新需求。地球科学与其他学科的交叉融合日益频繁，天基观测、大数据、机器学习等新手段、新技术的广泛应用效果凸显。

3.2 重点研究问题

《2022研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① 从地球系统科学视角开展气候变化研究，包括基于多种地球系统模型的气候敏感性评估，以及南极洲和格陵兰岛冰量损失对海平面变化的影响；② 利用轨道器和漫游车探测解析地外天体的形成与演化，如小行星地表特征和成分分析；③ 油气矿藏的地质特征、资源潜力和关键开发技术研究；④ 新一代放射性碳测年技术与应用。

以“小行星地表特征和成分分析”为例。小行星是围绕太阳运行、体积和质量比行星和矮行星小且不易释放出气体和尘埃的天体，其在太阳系中分布广泛，被认为保存着太阳系形成与演化的关键信息。小行星表面存在最广泛的地貌特征就是撞击坑，由于大

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10152v1

多数的小行星都是“碎石堆”结构，通过分析撞击坑的溅射毯，可以获取小行星密度和撞击年代信息。研究小行星地表风化层及表面裸露的石块，可以了解小行星内部物质及其母体性质等较为原始的信息，不同颜色与形态的岩石也能表征小行星表面物质的不同来源或演化过程[9]。早期的小行星探测主要以飞掠探测为主，随着科技的发展，对小行星的原位观测和采样探测也逐步展开。日本的“隼鸟 2 号”小行星探测器于 2014 年发射，2019 年成功完成对小行星“龙宫”的触地撞击并进行采样，这是人类首次在小行星上成功完成多次着陆采样，并首次采集到次表层地下样品。2020 年 12 月，“隼鸟 2 号”携带样品着陆地球。美国的“起源-光谱分析-资源识别-安全-风化层探测器”于 2016 年发射，旨在对小行星“贝努”进行采样探测，并计划于 2023 年返回地球，这也是美国首个小行星采样返回任务。该研究前沿的 12 篇核心论文，主要聚焦两个探测器对“龙宫”和“贝努”两颗小行星的初步探测结果，分析其地貌特征、地表成分和热特性，揭示有关两颗小行星的陨坑和地形的详细信息。美国、法国和日本是本研究前沿核心论文的主要产出国家，其中美国和日本分别主导“起源-光谱分析-资源识别-安全-风化层探测器”和“隼鸟 2 号”的研发，同时根据法国空间局披露，法国是唯一参与“龙宫”样本分析的合作国[10]。核心论文主要产出机构包括美国约翰 · 霍普金斯大学、法国国家科学研究中心、日本名古屋大学、美国国家航空航天局和日本宇宙航空研究开发机构等，且这些机构彼此之间合作紧密，凸显任务主导国和核心参与国及相关机构在基础研究中引领概念设计、掌握一手数据、最有希望优先产出原始创新重大成果的优势和可能。

4 临床医学领域发展趋势与重点研究问题

4.1 发展趋势

受新冠肺炎疫情广泛持续的影响，新冠肺炎的临床研究成为该领域主要研究内容。随着新冠肺炎疫情进程及其对医学需求的变化，新冠肺炎临床医学研究经历了从对新冠肺炎患者快速准确的诊断标准和技术、轻重病患救治方案和疫苗临床试验的研究，到新冠病毒感染快速检测和疫苗应用研究，再到后新冠肺炎疫情临床问题研究。

4.2 重点研究问题

《2022 研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① 新冠病毒现有疫苗安全性、长期免疫效果及对新变异株有效性研究；② 新研发的新冠肺炎治疗药物临床试验研究；③ 新冠肺炎长期后遗症研究；④ 新冠病毒致肺外脏器损伤病理病机研究；⑤ 新冠肺炎疫情流行早期临床治疗方案效果研究。

以“COVID-19 疫苗副作用和对突变株有效性”前沿群为例。截至 2022 年 9 月 26 日，全球已完成 127 亿剂次新冠毒疫苗接种，67.9% 的人口至少接种 1 剂次[11]。但随着接种人群的扩大和接种剂次增加，疫苗的副作用引起了广泛关注。与此同时，新冠病毒突变株的不断出现，也对疫苗研发和现有疫苗有效性提出严峻挑战。“COVID-19 疫苗副作用和对突变株有效性”前沿群包括 4 个新兴前沿：COVID-19 疫苗诱导血栓性血小板减少症、COVID-19 mRNA 疫苗接种过敏反应、COVID-19 疫苗对德尔塔突变株的有效性、腺病毒载体疫苗 ChAdOx1 抵抗 SARS-CoV-2 B.1.1.7 和 B.1.351 突变株有效性。其中，前两个前沿有关新冠肺炎疫苗副作用，主要涉及疫苗诱导血栓性血小板减少症（VITT）及严重过敏反应研究。VITT 是新冠疫苗不良反应中最为严重的一种[12]，主要在接种重组腺病毒疫苗人群中发现，可表现为严重的脑静脉窦血栓、肺栓塞、动脉血栓形成等多发血栓事件，并伴血小板减少、D 二聚体升高等。VITT 发生率低，但进展快，死亡率高达 20%—50%，需要引起高度重视。而疫苗接种后引发的严重过敏反应虽然较为罕见，但也引起了人们对疫苗风险的担

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10152v1

忧[13]。严重过敏反应多发生在 mRNA 疫苗接种后，主要由疫苗中的脂质纳米颗粒等引起，相关机构建议对任何疫苗成分（包括聚乙二醇和聚山梨酯等）有严重过敏反应的人不可接种此类疫苗，但对没有发生过严重过敏反应的人群则不是禁忌。后两个前沿有关新冠肺炎疫苗对新突变株的有效性，共 7 篇核心论文，发表在《自然》《柳叶刀》和《新英格兰医学杂志》上。这些研究公布了腺病毒载体疫苗 ChAdOx1 或重组蛋白疫苗 NVX-CoV2373 对新冠病毒突变株 Alpha（B.1.1.7）、Beta（B.1.351）、Delta（B.1.617.2）、Kappa（B.1.617.1）或 Gamma（P.1）的安全性及有效性实验结果，发现疫苗对部分突变株的保护效力降低甚至失效。这些发现为推动疫苗研究及改善免疫接种策略提供了有力的数据支撑。

5 生物科学领域发展趋势与重点研究问题

5.1 发展趋势

新冠病毒持续变异带来的潜在疫情复发风险刺激着新冠病毒基础问题研究走向深入，强化了新型疫苗、通用中和抗体和有效药物的研制。人工智能开始进入真正助力理解生命科学规律的时代。

5.2 重点研究问题

《2022 研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① 新冠病毒的入侵机制、致病机理、药物靶点研究；② 新冠病毒进化起源和中间宿主；③ 新冠肺炎疫情的预测模型；④ 新冠肺炎的中和抗体、疫苗及特效药的研发；⑤ AlphaFold 预测蛋白质结构等人工智能使能的生物学问题破解。

以“AlphaFold 等人工智能预测蛋白质结构”为例。蛋白质的结构预测将有助于为基础生物学提供新的见解，并揭示出具有临床意义的新药靶点，对基础科学和药物研发具有重大意义。以往蛋白质结构只能通过繁复的实验室分析来确定。在蛋白质结构解析的几十年历史中，X 射线晶体学、核磁共振波谱学、冷冻电镜技术作出了巨大的贡献，但这些技术通常耗时长、成本高。1972 年诺贝尔化学奖获奖者、美国生物化学家 Christian Anfinsen 曾在诺贝尔奖颁奖典礼上提出一个设想：基于蛋白质的一维氨基酸序列可计算并预测蛋白质的三维结构。然而，蛋白质的三维结构在形成之前会有数以亿计的折叠方式。有数据显示，一个典型的蛋白质大约有 10^{300} 种可能构型，如果用蛮力来计算所有可能的构型可能花费的时间比宇宙的年龄都要长。在这种设想提出的近 50 年后，谷歌旗下人工智能公司 DeepMind 于 2020 年 12 月的国际蛋白质结构预测竞赛 CASP14 上以 AlphaFold2 击败了其他选手，在预测准确性方面达到接近人类实验结果。该研究前沿的核心论文包括下述 3 篇论文。2021 年 7 月 16 日和 22 日，DeepMind 团队在《自然》发表 2 篇论文[14,15]，描述了 AlphaFold2 对人类蛋白质组的准确结构预测，并首次对外分享了开源代码，预测信息也免费向公众开放。2021 年 7 月 16 日，由 David Baker 领导，来自华盛顿大学、哈佛大学、得克萨斯大学西南医学中心等的联合研究团队在《科学》上公开一款新的深度学习工具 RoseTTAFold，基于一个“三轨”神经网络，根据有限信息快速准确地预测出目标蛋白质的结构[16]。其预测的超高准确度媲美 AlphaFold2，而且速度更快、所需计算机处理能力更低。同样，研究团队也对外分享了开源代码。这些成果意味着人工智能已进入生命科学的微观分子领域，并且向生命科学研究人员开放，其广泛使用可能对结构生物学产生重大影响。这是生物学发展的里程碑。“人工智能预测蛋白质结构”也因此入选《科学》杂志评选的“2021 年度十大科学突破”。

6 化学与材料科学领域发展趋势与重点研究问题

6.1 发展趋势

实现高效、精准的化学合成一直是化学研究的重

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10152v1

要目标之一。人工智能的发展不仅为实现这一目标提供了新的机遇，而且智能化、自动化合成成为新的发展趋势。化学与材料科学、生命科学、信息科学、环境科学、能源科学等密切交叉和相互渗透，通过创造具有优异性能的新物质推动材料、能源、医药等产业发展。

6.2 重点研究问题

《2022 研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① 单原子催化、纳米酶等精准合成方法；② 机器学习辅助化学合成等智能合成过程；③ 锌金属电池、锂硫电池、钙钛矿型太阳能电池等新一代电池；④ 新冠病毒检测、药物精准递送等生物化学研究；⑤ 自供电可穿戴织物、热激活延迟荧光材料等新材料。

*以“机器学习辅助化学合成等智能合成过程”为例。*长期以来，化学合成采取依赖专家经验和人工试错的研究模式，不仅失败率较高，而且容易引发安全事故。实现化学合成智能化、自动化是化学科技工作者长久以来的梦想。以机器学习为代表的人工智能的快速发展为实现这一梦想提供了可能。“研究前沿”系列报告捕捉到机器学习助力化学研究的发展趋势：2019 年，“机器学习预测分子性质”入选化学与材料科学领域前 10 名（TOP 10）热点前沿；2022 年，“机器学习辅助的化学合成”进入 Top 10 热点前沿。该研究前沿的 35 篇核心论文涉及反应预测（反应性、路线、产物等）和自动合成两方面内容。*在反应预测方面，*既包括基于化学反应规则的方法，如波兰科学院、波兰华沙大学、韩国国立蔚山科学技术院等开发的Chematica 软件[17]；也包括基于自然语言处理的方法，如瑞士 IBM 欧洲研究院和英国剑桥大学合作开发的 Molecular Transformer 模型[18]。德国明斯特大学和中国上海大学合作发表的关于使用深度神经网络规划逆合成路线的研究，是被引频次最高的一篇论文[19]。*在自动合成方面，*既包括自动合成技术研究，如美国伊利诺伊大学开发的 Automated Synthesizers[20]，英国格拉斯哥大学开发的 Chemputer 系统[21]；也包括自主实验室研究，如美国麻省理工学院开发的自动合成平台[22]（相关论文被引频次排在第 2 位），英国利物浦大学开发的移动实验机器人[23]。美国、英国和瑞士是该研究前沿核心论文的主要产出国家；美国麻省理工学院、瑞士 IBM 欧洲研究院、英国格拉斯哥大学、美国伊利诺伊大学、韩国国立蔚山科学技术院不仅贡献了多篇核心论文，而且自主研发产品甚至实现了商业化。

7 物理学领域发展趋势与重点研究问题

7.1 发展趋势

搜寻新物理、发现新物态，已成为物理学研究的重要目标。μ 子反常磁矩、味对称性与轻子质量、强子物理等研究持续推动着粒子物理学进步，高温超导、拓扑物态和二维材料等正在加速新理论、新材料和新器件的发现。

7.2 重点研究问题

《2022 研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① μ 子反常磁矩研究；② 夸克和轻子味物理研究；③ 奇特强子态研究；④ 拓扑物态和新型拓扑材料研究；⑤ 具有高超导转变温度的超导材料研究；⑥ 二维材料及其异质结构研究。

*以“拓扑物态和新型拓扑材料研究”为例。*拓扑物理是数学与物理完美结合的典范之一。20 世纪 70 年代，拓扑概念被引入到凝聚态物理中[24]；20 世纪 80 年代，应用于对量子霍尔效应的诠释[25,26]，这些研究因开创拓扑时代而获得了 2016 年诺贝尔物理学奖。拓扑绝缘体是一种内部绝缘、表面导电的材料，从 2005 年的理论预测[27]到 2007 年二维拓扑绝缘体被实验验证 [28]，国际上掀起了拓扑物态和拓扑材料研究的热潮，并成为凝聚态物理领域重要和快速发展的热点前沿之一。各种全新的拓扑物态和材料相继被发现，如量子反常霍尔效应、拓扑半金属、拓扑超导

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10152v1

体、高阶拓扑绝缘体等。磁性和拓扑之间的相互作用可以在材料中产生各种奇异的拓扑物态，因此，磁性拓扑绝缘体的研究引起了广泛的兴趣。在《2022研究前沿》中，“磁性拓扑绝缘体 $MnBi_2Te_4$（锰铋碲）”成为热点前沿。2019年，清华大学、南京大学分别独立理论预测 $MnBi_2Te_4$ 为本征磁性拓扑绝缘体[29,30]，清华大学、西班牙高等科研理事会-巴斯克大学联合中心分别独立实验验证 $MnBi_2Te_4$ 为本征磁性拓扑绝缘体[31,32]；2020年，复旦大学等在 $MnBi_2Te_4$ 中实现量子反常霍尔效应（被引频次最高，313次）[33]；北京大学等在 $MnBi_2Te_4$ 中实现高陈数和高温量子反常霍尔效应[34]。磁性拓扑绝缘体的研究正在蓬勃发展中，其成果将有助于促进应用于低能耗自旋电子学、拓扑量子计算等领域的下一代电子器件的开发。中国、美国和日本是该研究前沿核心论文的主要产出国家，中国科学院、日本理化学研究所、清华大学和德国马普学会是主要产出机构。

8 天文学领域发展趋势与重点研究问题

8.1 发展趋势

天文学领域观测手段迅速发展、全波段研究日臻完善及分析模型和分析能力不断进步，实现或深化了对暗物质与暗能量的本质，宇宙早期的物理过程，星系、宇宙大尺度结构、黑洞、恒星的形成与演化，行星系统探测与动力学及太阳活动和爆发机制的认识。

8.2 重点研究问题

《2022研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① 搜寻第一代恒星、星系和黑洞；② 发现临近的系外行星；③ 通过对双中子星、双黑洞并合事件等开展多信使观测研究宇宙的基本规律；④ 利用先进数字宇宙模型研究恒星、星系及宇宙演化；⑤ 利用先进天基平台“帕克太阳探测器”和“太阳轨道器”等开展日球层物理研究。

*以“利用先进天基平台开展日球层物理研究”为例。*20世纪90年代以来，日球层物理研究进入了高速发展期，基于空间卫星的探测占据主导地位，一系列太阳探测卫星无论是探测技术还是探测范围都得到了空前提高，开启了多波段、全时域、高分辨率和高精度探测时代[35,36]。2018年8月，美国国家航空航天局成功发射“帕克太阳探测器”，其主要科学目标是采用原位测量和成像技术相结合的方式改变对日冕的认识，增进对太阳风起源和演化的理解，并对提高空间天气事件预测能力作出重要贡献[37]。“帕克太阳探测器”以人类有史以来最接近太阳的距离对太阳进行探测；在任务的最后3圈，“帕克太阳探测器”距太阳表面仅约600万公里（8.86个太阳半径）[38]。2020年2月，世界首颗可以针对太阳极区开展近距离观测的航天器——欧洲空间局的中型任务“太阳轨道器”成功发射。“太阳轨道器”的首要科学目标是研究太阳如何产生和控制日球层。当“帕克太阳探测器”开展近距离原位探测时，“太阳轨道器”还将与之协同，在相对较远的位置进行遥感观测[39]。入选《2022研究前沿》热点前沿的“基于‘帕克太阳探测器’和‘太阳轨道器’开展的日球层物理研究”包括28篇研究论文，分别围绕两项探测任务的科学目标、关键载荷及基于观测数据开展的系列科学研究发现展开，如通过对太阳的近距离原位观测发现低纬度日冕洞是慢太阳风的关键来源并揭示慢太阳风是如何加速的，观测到大范围太阳高能粒子事件，探测到强隐形日冕物质抛射的太阳起源，在日冕中捕捉到瞬态等离子体流和射流等。作为“帕克太阳探测器”的投资国和“太阳轨道器”的参与国，美国产出了该前沿超过90%的核心论文；法国、英国、德国、西班牙等11个欧洲空间局的成员国也是核心论文的主要产出国家。美国国家航空航天局、美国加州大学伯克利分校、法国国家科学研究中心、美国密歇根大学、法国巴黎文理研究大学、美国哈佛大学、英国帝国理工学院等两项探测任务的主要参与机构，是核心论文的主

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10152v1

要产出机构。

9 数学领域发展趋势与重点研究问题

9.1 发展趋势

若干数学难题得到解决或向其最终解决迈出了重要步伐，同时解决或研究提出了众多数学应用中或与其他自然科学、工程技术、经济金融与管理科学等领域相互交叉、渗透与融合而产生的交叉问题等。

9.2 重点研究问题

《2022 研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① 重大问题和著名难题研究，包括 Tau-Tilting 有限代数研究，三维及高维（8 维、24 维）空间等体球体最密堆积问题的证明，以及维诺格拉多夫中值定理中主要猜想的证明等；② 利用多种方法（如深度学习算法等）求解系列高维偏微分方程的数值解；③ 针对线性回归模型的基准问题最佳子集选择提出更优的算法。

以“三维及高维空间等体球体最密堆积问题的证明”为例。寻找堆积等尺寸球体的最密堆积方法是一个看似简单却极具挑战性的问题。1611 年德国数学家、天文学家开普勒推测，在三维空间中把相同大小的球体堆在一起的最密集方式应为金字塔形堆积。这一猜想位列希尔伯特 20 世纪 23 个重大数学问题中的第 18 个，直到 1998 年才由美国数学家 Thomas Hales以 250 页的数学论证结合大量计算机计算得以证明 [40]。高维球体是高维空间中距给定中心点有固定距离的一组点的集合。高维空间中球体密堆积很难想象，但相关研究具有多种实用价值：球体密堆积与移动通信、空间探测器和互联网通过噪声信道发送信号使用的纠错码密切相关。在高维空间中研究等尺寸球体最密堆积问题比三维情况下更复杂，因为每增加一个维度就意味着要考虑更多可能的堆积方式。此前研究发现 8 维和 24 维空间中分别存在着被称为 E8 和利奇格（Leech lattice）的对称球堆积，这两种堆积方式可能好于已知的其他最密堆积候选方案。热点前沿“8维及 24 维空间等体球体最密堆积问题”包括 3 篇核心论文。其中，被引频次最高的论文即 Thomas Hales 对开普勒猜想的正式证明，该证明自 1998 年首次提出后经历了漫长的审查流程，直至 2014 年才完成全部验证并于 2017 年正式发表[41]。被引频次排名第 2 位的研究论文是乌克兰数学家 Maryna Viazovska 构建辅助函数正式证明 8 维空间中 E8 堆积方式为最优填充[42]。排名第 3 位的研究论文是 Maryna Viazovska 与其他 4 位受到她提出的方法启发的数学家合作，证明利奇格堆积方式是 24 维空间最优最密堆积方式[43]。Maryna Viazovska 也因对 8 维空间中等体球体最密堆积问题的开创性贡献而荣获 2022 年的菲尔兹奖[44]。

10 信息科学领域发展趋势与重点研究问题

10.1 发展趋势

人工智能解决特定领域问题的卓越能力日益彰显，多智能体协同和透明、稳健与可信的人工智能研究摆上日程。5G 毫米波通信及其智能网联应用研究日益深入，开始探索研究推动智能化网络发展的 6G 通信前沿技术。量子通信实验研究快速进步。

10.2 重点研究问题

《2022 研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① 长距离自由空间量子密钥分发与量子纠缠；② 面向从头药物设计的深度学习方法；③ 可解释人工智能、多智能体强化学习；④ 毫米波 MIMO 通信系统的混合预编码技术；⑤ 区块链与物联网的集成等。

以“长距离自由空间量子密钥分发与量子纠缠”为例。量子密钥分发是量子通信最典型的两种应用之一。自从 1984 年首个量子密钥分发理论方案被提出以来，如何将量子密钥分发推向应用并实现大尺度的量子通信，一直是国际学术界为之奋斗的目标。2007 年，中国、美国、欧洲的 3 个团队同时报

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10152v1

道实现了超百公里的诱骗态量子密钥分发实验[45-47]，打开量子通信走向应用的大门。2016 年，中国发射“墨子号”量子科学实验卫星，并在一年内实现了千公里级的星地双向量子纠缠分发[48]、星地高速量子密钥分发[49]和地星量子隐形传态[50]三大既定科学目标。2017 年，利用“墨子号”的天地链路与“京沪干线”，中国和奥地利之间在国际上首次成功实现了距离达 7 600 公里的洲际量子密钥分发，并利用共享密钥实现了加密数据传输和视频通信[51]。2020 年，“墨子号”量子科学实验卫星又在国际上首次实现千公里级基于纠缠的量子密钥分发[52]，将以往地面无中继量子保密通信的空间距离提高了一个数量级。2021 年，我国宣布建成跨越 4 600 公里的天地一体化量子通信网络[53]，为未来实现覆盖全球的量子保密通信网络奠定了科学与技术基础。在量子密钥分发的理论研究方面，英国约克大学研究团队在 2017 年给出了无中继量子通信的成码率极限[54]；东芝欧洲研究中心于 2018 年提出双场量子密钥分发（TF-QKD）协议，在保证密钥安全的前提下突破了以往 QKD 协议的安全距离[55]，引起广泛关注。上述成果的相关论文构成了多次入选“研究前沿”系列报告热点前沿的核心论文，如2016 年入选的“测量设备无关型量子密钥分发研究”，2020 年入选的“长距离连续变量量子密钥分发”，以及 2022 年入选的“长距离自由空间量子密钥分发与量子纠缠研究”等。

11 经济学、心理学及其他社会科学领域发展趋势与重点研究问题

11.1 发展趋势

该领域一直聚焦与经济社会现象密切相关的研究问题和研究方法，其中，与心理学相关的研究问题是该领域的重点。随着新冠肺炎疫情持续蔓延，近两年该领域的多个前沿问题与新冠肺炎疫情相关，涉及个人认知、心理健康以及经济社会发展。此外，数字技术等新兴技术对经济社会发展的影响也是该领域近几年来的研究重点之一。

11.2 重点研究问题

《2022 研究前沿》揭示的该领域重点研究问题包括：① 新冠肺炎疫情背景下认知、行为与心理健康，包括公众对新冠肺炎疫情及其疫苗接种的认识、态度及行为，疫情背景下儿童、老人等特殊人群身心健康与护理，大流行期间的健康风险问题等；② 新冠肺炎疫情对全球供应链和金融市场的影响；③ 新兴技术对农业、智慧城市建设、碳排放等方面的影响；④ 社会科学领域研究方法的创新应用。

以“COVID-19 全球大流行下的金融市场波动”为例。新冠病毒的持续传播对全球金融市场产生了巨大的影响，带来了前所未有的风险水平。该热点前沿主要涵盖 2 个方面的研究内容：① 测算新冠肺炎疫情对金融市场的影响；② 评估不同资产的避险作用。在测算新冠肺炎疫情对金融市场的影响方面，12 篇论文实证分析或综述了新冠肺炎疫情对金融市场的影响，证明了传染性疾病会对股市产生严重的消极影响：① 随着确诊病例数量的增加，股市回报率下降，与死亡人数的增长相比，股市对确诊病例数量的增长反应更为显著[56,57]；② 通过分析不同国家疫情防控政策对股市波动影响的差异，证明了非药物干预显著增加了股市波动[58]；③ 通过研究新冠病毒相关新闻产生的情绪与股市波动之间的关系，发现新闻媒体产生的压倒性恐慌与股市波动性增加有关[59]。在评估不同资产的避险作用方面，研究显示，比特币、以太坊等不能起到良好的避险作用，它们的加入增加了投资组合的下行风险；全球最大稳定币发行商 Tether 在新冠肺炎疫情期间成功地维持了与美元的挂钩，具有一定的避风港属性[60]；而在此次大流行期间，黄金和大豆商品期货作为避险资产仍然保持强劲[61]。2020 年 10 月，西南财经大学和中国科学院科技战略咨询研究院合作发表的论文被引频次最高，文章绘制了新冠肺炎疫情下全球金

chinaXiv:202303.10152v1

融市场中特定国家风险和系统性风险的一般模式，并分析政策干预的潜在影响[62]。

12 结论

科学界和情报学界各自认为的“研究前沿”在方向上是一致的，但情报学界的research front更多表现为实现科学界research frontier的具体方法和途径。“研究前沿”是科研人员共同的奋斗方向，在致力于解决research frontier的过程中，形成了一些可行性高、参与程度高的途径或方法即热点，这些途径或方法在引用关系上体现为一组内容关联、频繁被共同引用的论文及其施引论文，这就是research front。这种引用关系数据其实隐含着科学家对其研究领域新拓展的研判。所以，这种数据并不仅仅是用仪器测量得到的“客观”数据。引文数据既测度了科学家对以前人研究成果为基础开展新的研究的“客观”，也通过施引论文中引用动机分析揭示后来者的“主观”思想判断。

《2022 研究前沿》报告及其系列分析成果的分析研究方法既有运用大数据与深度学习技术对共被引数据挖掘形成的“研究前沿”，以及对“研究前沿”的核心论文和施引论文的计量分析，也有对“研究前沿”所涉及相关文献的“内容”分析解读。这两种分析各具特色地揭示表征了“研究前沿”的发展趋势和态势，但计量分析的“科技战略咨询”功能明显要弱于“解读研判”。

本文即是尝试依赖科技战略情报人员的专业背景、情报基础和专家，在《2022 研究前沿》报告数据及其分析解读的基础上，对 11 个大学科领域的基础研究整体趋势、学科领域发展趋势和重点研究问题进行了分析研判，期望对科技决策管理发挥一定的作用。

致谢 山东理工大学白如江，中国医学科学院医学信息研究所李赞梅、李军莲、冀玉静，山东理工大学孙震也参与了本文的撰稿，在此一并表示感谢。

参考文献

1 中国科学院科技战略咨询研究院，中国科学院文献情报中心，科睿唯安. 2022研究前沿. (2022-12-27). http://webapp.icarebj.com/clarivate/research_fronts_2022/report.htm.
Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Clarivate. 2022 Research fronts. (2022-12-27). http://webapp.carebj.com/clarivate/research_fronts_2022/report.htm. (in Chinese)

2 Golicz A A, Bayer P E, Bhalla P L, et al. Pangenomics comes of age: From bacteria to plant and animal applications. Trends in Genetics, 2020, 36(2): 132-145.

3 Wang W S, Mauleon R P, Hu Z Q, et al. Genomic variation in 3,010 diverse accessions of Asian cultivated rice. Nature, 2018, 557: 43-49.

4 Walkowiak S, Gao L L, Monat C, et al. Multiple wheat genomes reveal global variation in modern breeding. Nature, 2020, 588: 277–283.

5 Liu Y C, Du H L, Li P C, et al. Pan-genome of wild and cultivated soybeans. Cell, 2020, 182(1): 162-176.

6 Prata J C, Silva A L P, Walker T R, et al. COVID-19 pandemic pepercussions on the use and management of plastics. Environmental Science & Technology, 2020, 54(13): 7760-7765.

7 Klemeš J J, Fan Y V, Tan R R, et al. Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020, 127: 109883.

8 Silva A L P, Prata J C, Walker T R, et al. Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations. Chemical Engineering Journal, 2021, 405: 126683.

9 王兴，刘建军. 小行星环境特性分析与研究现状. 航天器环境工程, 2019, 36(6): 533-541.
Wang X, Liu J J. Analyses of the environmental characteristics of asteroids and the current research state. Spacecraft Environment Engineering, 2019, 36(6): 533-541. (in Chinese)

10 CNES. La France Presente Aux Cotes Du Japon Dans Les

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.10152v1

Premieres Analyses Des Echantillons Collectes Sur L'Asteroïde Ryugu. (2021-05-11)[2022-12-18]. https://presse.cnes.fr/en/la-france-presente-aux-cotes-du-japon-dans-les-premieres-analyses-des-echantillons-collectes-sur-0.

11 Our World in Data. Coronavirus (COVID-19) Vaccinations. (2022-11-13)[2022-12-18]. https://ourworldindata.org/covid-vaccinations.

12 Klok F A, Pai M, Huisman M V, et al. Vaccine-induced immune thrombotic thrombocytopenia. Lancet Haematol. 2022, 9(1): e73-e80.

13 National Institutes of Health. NIH begins study of allergic reactions to Moderna, Pfizer-BioNTech COVID-19 vaccines. (2021-06-18)[2022-12-18]. https://www.nih.gov/news-events/news-releases/nih-begins-study-allergic-reactions-moderna-pfizer-biontech-covid-19-vaccines.

14 Jumper J, Evans R, Pritzel A, et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. Nature, 2021, 596: 583-589.

15 Tunyasuvunakool K, Adler J, Wu Z, et al. Highly accurate protein structure prediction for the human proteome. Nature, 2021, 596: 590-596.

16 Baek M, DiMaio F, Anishchenko I, et al. Accurate prediction of protein structures and interactions using a three-track neural network. Science, 2021, 373: 871-876.

17 Szymkuć S, Gajewska E P, Klucznik T, et al. Computer-assisted synthetic planning: The end of the beginning. Angewandte Chemie International Edition, 2016, 55(20): 5904-5937.

18 Schwaller P, Laino T, Gaudin T, et al. Molecular transformer: A model for uncertainty-calibrated chemical reaction prediction. ACS Central Science, 2019, 5(9): 1572-1583.

19 Segler M H S, Preuss M, Waller M P. Planning chemical syntheses with deep neural networks and symbolic AI. Nature, 2018, 555: 604-610.

20 Lehmann J W, Blair D J, Burke M D. Towards the generalized iterative synthesis of small molecules. Nature Reviews Chemistry, 2018, 2: 115.

21 Steiner S, Wolf J, Glatzel S, et al. Organic synthesis in a modular robotic system driven by a chemical programming language. Science, 2019, 363: eaav2211.

22 Coley C W, Thomas D A3rd, Lummiss J A M, et al. A robotic platform for flow synthesis of organic compounds informed by AI planning. Science, 2019, 365: eaax1566.

23 Burger B, Maffettone P M, Gusev V V, et al. A mobile robotic chemist. Nature, 2020, 583: 237-241.

24 Kosterlitz J M, Thouless D J. Ordering, metastability and phase transitions in two-dimensional systems. Journal of Physics C: Solid State Physics, 1973, 6(7): 1181-1203.

25 Thouless D J, Kohmoto M, Nightingale M P, et al. Quantized hall conductance in a two-dimensional periodic potential. Physical Review Letters, 1982, 49(6): 405-408.

26 Haldane F D. Model for a quantum Hall effect without Landau levels: Condensed-matter realization of the "parity anomaly". Physical Review Letters, 1988, 61(18): 2015-2018.

27 Kane C L, Mele E J. Z2 topological order and the quantum spin Hall effect. Physical Review Letters, 2005, 95(14): 146802.

28 König M, Wiedmann S, Brüne C, et al. Quantum spin hall insulator state in HgTe quantum wells. Science, 2007, 318: 766-770.

29 Li J H, Li Y, Du S Q, et al. Intrinsic magnetic topological insulators in van der Waals layered MnBi2Te4-family materials. Science Advances, 2019, 5(6): eaaw5685.

30 Zhang D Q, Shi M J, Zhu T S, et al. Topological Axion states in the magnetic insulator $MnBi_2Te_4$ with the quantized magnetoelectric effect. Physical Review Letters, 2019, 122(20): 206401.

31 Gong Y, Guo J W, Li J H,et al. Experimental realization of an intrinsic magnetic topological insulator. Chinese Physics Letters, 2019, 36(7): 076801.

32 Otrokov M M, Klimovskikh I I, Bentmann H, et al. Prediction and observation of an antiferromagnetic topological insulator. Nature, 2019, 576: 416-422.

33 Deng Y J, Yu Y J, Shi M Z, et al. Quantum anomalous Hall effect in intrinsic magnetic topological insulator $MnBi2Te_4$. Science, 2020, 367: 895-900.

34 Ge J, Liu Y Z, Li J H, et al. High-Chern-number and high-temperature quantum Hall effect without Landau levels.

National Science Review, 2020, 7(8): 1280-1287.
35 National Research Council, Division on Engineering and Physical Sciences, Space Studies Board, et al. Solar and Space Physics: A Science for A Technological Society. Washington DC: The National Academies Press, 2013.
36 Verscharen D, Klein K G, Maruca B A. The multi-scale nature of the solar wind. Living Reviews in Solar Physics, 2019, 16(1): 5.
37 Fox N J, Velli M C, Bale S D, et al. The solar probe plus mission: Humanity's first visit to our star. Space Science Reviews, 2016, 204(1-4): 7-48.
38 Kasper J C, Klein K G, Lichko E, et al. Parker solar probe enters the magnetically dominated solar corona. Physical Review Letters, 2021, 127(25): 255101.
39 Müller D, Cyr O C S, Zouganelis I, et al. The solar orbiter mission. Astronomy & Astrophysics, 2020, 642: A1.
40 Hales T C. Historical overview of the Kepler conjecture. Discrete & Computational Geometry, 2006, 36(1): 5-20.
41 Hales T, Adams M, Bauer G, et al. A formal proof of the Kepler conjecture. Forum of Mathematics, Pi, 2017, 5: e2.
42 Viazovska M S. The sphere packing problem in dimension 8. Annals of Mathematics, 2017, 185(3): 991-1015.
43 Cohn H, Kumar A, Miller S, et al. The sphere packing problem in dimension 24. Annals of Mathematics, 2017, 185(3): 1017-1033.
44 Castelvecchi D. 'Mathematics is an unknown land': Meet Fields Medal winner Maryna Viazovska. Nature, 2022, 607: 649.
45 Peng C Z, Zhang J, Yang D, et al. Experimental long-distance decoy-state quantum key distribution based on polarization encoding. Physical Review Letters, 2007, 98(1): 010505.
46 Rosenberg D, Harrington J W, Rice P R, et al. Long-distance decoy-state quantum key distribution in optical fiber. Physical Review Letters, 2007, 98(1): 010503.
47 Schmitt-Manderbach T, Weier H N, Fürst M, et al. Experimental demonstration of free-space decoy-state quantum key distribution over 144 km. Physical Review Letters, 2007, 98(1): 010504.
48 Yin J, Cao Y, Li Y H, et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers. Science, 2017, 356: 1140-1144.
49 Liao S K, Cai W Q, Liu W Y, et al. Satellite-to-ground quantum key distribution. Nature, 2017, 549: 43-47.
50 Ren J G, Xu P, Yong H L, et al. Ground-to-satellite quantum teleportation. Nature, 2017, 549: 70-73.
51 潘建伟. 量子密钥分发与量子隐形传态// 科学技术部基础研究司，科学技术部高技术研究发展中心. 中国基础研究发展报告. 北京：科学出版社, 2019: 58-60.
Pan J W. Quantum key distribution and quantum teleportation// Department of Basic Research, Ministry of Science and Technology, HTRDC, Ministry of Science and Technology. China Basic Research Development Report. Beijing: Science Press, 2019: 58-60. (in Chinese)
52 Yin J, Li Y H, Liao S K, et al. Entanglement-based secure quantum cryptography over 1,120 kilometres. Nature, 2020, 582: 501-505.
53 Chen Y A, Zhang Q, Chen T Y, et al. An integrated space-to-ground quantum communication network over 4,600 kilometres. Nature, 2021, 589: 214-219 .
54 Pirandola S, Laurenza R, Ottaviani C, et al. Fundamental limits of repeaterless quantum communications. Nature Communications, 2017, 8: 15043.
55 Lucamarini M, Yuan Z L, Dynes J F, et al. Overcoming the rate–distance limit of quantum key distribution without quantum repeaters. Nature, 2018, 557: 400-403.
56 Liu H Y, Manzoor A, Wang C Y, et al. The COVID-19 outbreak and affected countries stock markets response. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(8): 2800.
57 Zhang D Y, Hu M, Ji Q. Financial markets under the global pandemic of COVID-19. Finance Research Letters, 2020, 36: 101528.
58 Conlon T, McGee R. Safe haven or risky hazard? Bitcoin during the COVID-19 bear market. Finance Research Letters, 2020, 35: 101607.
59 Haroon O, Rizvi S A R. COVID-19: Media coverage and financial markets behavior—A sectoral inquiry. Journal of Behavioral and Experimental Finance, 2020, 27: 100343.

chinaXiv:202303.10152v1

ChinaXiv合作期刊

60 Conlon T, Corbet S, McGee R J. Are cryptocurrencies a safe haven for equity markets? An international perspective from the COVID-19 pandemic. Research in International Business and Finance, 2020, 54: 101248.

61 Corbet S, Hou Y, Hu Y, et al. Aye Corona! The contagion effects of being named Corona during the COVID-19 pandemic. Finance Research Letters, 2021, 38: 101591.

62 Zhang D Y, Hu M, Ji Q. Financial markets under the global pandemic of COVID-19. Finance Research Letters, 2020, 36: 101528.

2022 Research Fronts: Development Trends and Key Research Questions in 11 Broad Research Areas

PAN Jiaofeng[1,2] WANG Haixia[1] LENG Fuhai[1*] ZHANG Feng[1,2] YANG Fan[1] YUAN Jianxia[1] XING Ying[1] FAN Weiwei[1]
ZHOU Qiuju[1] BIAN Wenyue[1] ZHANG Chaoxing[1] Huang Longguang[1] WANG Haiming[1] HAN Lin[1] PEI Ruimin[1]

（1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
2 School of Public Plicy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China）

Abstract In 2022, Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CASISD), the National Science Library, CAS, and Clarivate Analytics released their joint report *Research Fronts 2022*. The report utilized the Essential Science Indicators (ESI) database to do co-citation analysis. The 2022 report started from 12 610 research fronts in ESI and identified a total of 165 research fronts, including hot and emerging specialties spanning 11 broad research areas in sciences and social sciences. With the 165 research fronts and the related core papers and citing papers as the basis for analysis, this study summarized 8 development trends in science and technology, and recent trends and key research questions in 11 broad research areas, aiming to provide reference for studying and forecasting the major development trends in science and technology, summarizing important research issues and then making systematic deployment.

Keywords research front, highly cited paper, development trends in S&T

潘教峰 中国科学院科技战略咨询研究院院长、研究员，中国科学院大学公共政策与管理学院院长。中国发展战略学研究会理事长。主要从事科技战略规划、创新政策和智库理论方法研究。E-mail: jfpan@casisd.cn

PAN Jiaofeng Professor, President of the Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CASISD), Dean of the School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Chairman of the Chinese Association of Development Strategy. His research focuses on S&T strategic planning, innovation policy, think-tank theory and method research. E-mail: jfpan@casisd.cn

冷伏海 中国科学院科技战略咨询研究院科技战略情报研究所所长、研究员。主要研究领域为科技战略与规划、学科发展战略情报研究、情报学理论方法。E-mail: lengfuhai@casisd.cn

LENG Fuhai Professor, Director of Science and Technology Strategic Intelligence Research Institute, Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences. His research interests focus on marketing informatics, SME information service, S&T strategy and planning, strategic intelligence research of science and development. E-mail: lengfuhai@casisd.cn

■责任编辑：张帆

*Corresponding author

chinaXiv:202303.10152v1